

文章编号:1000-4653(2012)01-0071-05

海上沉船碍航概率风险评估

邢 辉¹, 于洪亮¹, 段树林¹, 吕安勤², 周尊山²

(1. 大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连 116026; 2. 山东海事局 研究中心, 山东 青岛 266002)

摘 要:为对我国沿海水域沉船进行科学的风险评估及处置决策,确保通航船舶水上安全和畅通,基于事件树方法分析了通航船舶碰撞沉船事故的发生过程和机理,建立了沉船碍航概率风险评估模型。假定通航船舶在航路中的航迹线服从正态分布,根据沉船位置确定了通航船舶驶入碰撞航路的几何概率。根据国内外事故资料确定通航船舶发生异常而避碰失败的基准偏航概率,并考虑了风、流、能见度和交通密度等因素进行修正。通过对实际沉船碍航特性的评估,验证了该方法对沉船管理和处置决策具有实用性和可操作性。

关键词:船舶、舰船工程;沉船;通航船舶;碍航概率;事件树分析;风险评估

中图分类号:U698

文献标志码:A

Assessment of Probability for Shipwreck to Obstruct Navigation at Sea

Xing Hui¹, Yu Hongliang¹, Duan Shulin¹, Lü Anqin², Zhou Zunshan²

(1. College of Marine Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. Research Center, Shandong Maritime Safety Administration, Qingdao 266002, China)

Abstract: How to dispose the shipwrecks in China's coastal waterways with the greatest effectiveness is an interesting problem. The course and mechanism for shipwreck to cause navigational accidents are studied, and a shipwreck accident probability assessment model is established based on event tree analysis. The geometric probability of vessels enter the obstruction area is determined according to the location of shipwreck on the assumption that traffic pattern follows normal distribution. The course deviation probability reference is determined from historic records of abnormal obstruction avoidance failure with the corrections for wind, current, visibility, passageways and traffic density. Through application of the model, the shipwreck accident probability assessment method is proved to be practical and useful for shipwreck management and disposal decision-making.

Key words: ship, naval engineering; shipwreck; navigable vessel; accident probability; event tree analysis(ETA); risk assessment

随着水路运输的快速发展,各种人为因素、设备故障或恶劣气象海况条件所致的沉船事故时有发生。沉船具有突发性,并且往往沉没在航路中或航线附近,严重影响往来船只的安全和通航效率。沉船后相继发生其它通航船舶碰撞沉船的海事案例屡见报道,如 2003-06-01“北海 102”轮拖带的无动力海上储油加工船“海洋石油 111”轮触碰长江口水域 2003-02-17 沉没的“航海 8”沉船;2003-06-22“盛鑫 658”触碰大渔湾水域 2003-04-23 沉没的“大庆 767”沉船;2006-03-09 韩国籍货轮“太荣兰花”轮碰撞 2005-04-05 沉没于丹东水域的“太马港”轮而沉没;

“索特 66”轮在沉没了近一年后,于 2008-10-03 被走锚的“皖鸿远 2458”轮触碰导致“皖鸿远 2458”轮沉没。目前,我国沿海及内河航路沉船数量较多,若得不到及时妥善处理,将严重影响水上交通运输安全。因此,海事管理局及地方政府积极开展沉船风险评估,加强对沉船风险评估方法的研究,对于加强沉船管理工作、科学处置沉船、确保船舶水上航行安全和航路畅通具有重要意义。

自 20 世纪 70 年代开始分别有学者从事船—船碰撞、船—桥碰撞和船—平台碰撞等方面的研究^[1-3]。Fujii 基于日本海峡船—船碰撞事故的研究首

收稿日期:2011-11-10

资助项目:交通运输部海事局科研项目(2010-37)

作者简介:邢 辉(1980-),男,湖北浠水人,讲师,硕士,主要从事现代轮机工程、水运安全和防污染管理评价等方面的研究。

E-mail: xingcage@163.com.

次提出了几何碰撞概率理论;Macduff以船舶碰撞事故的统计结果为基础,计算出船舶相互作用或碰撞的几何概率,同时引进了一个修正因子来解决模型与实际统计数据之间的偏差问题。Fujii和Macduff的研究思路在后来的实践中得到了广泛应用。

1 沉船碍航机理分析

1.1 沉船碍航事件树分析

沉船对通航安全的影响在于通航船舶可能会碰撞到沉船,这主要是由于通航船舶未获知沉船信息、值班瞭望失误、人员的错误行动或设备故障导致避碰措施失败等原因所致(见图1),在经过沉船区域的过程中有一部分通航船舶会行驶在碰撞航路上。驶入碰撞航路的通航船舶并不可能必然碰撞沉船,它还会受到人为因素(避碰行动)或客观条件(沉船最高点至低潮海平面的距离为沉船深度 H_M ,若沉船显露出水面,记 $H_M=0$)的干预。

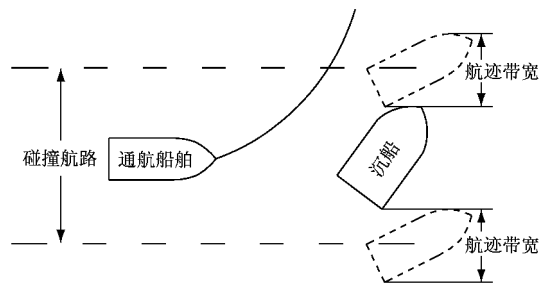


图1 通航船舶经过沉船区域示意图

Fig. 1 Navigable vessels passing by shipwreck field

通过图2的事件树,分析了通航船舶经过沉船区域的过程中碰撞沉船事故的发生过程和机理。驶入碰撞航路的通航船舶碰撞沉船可以归结为以下两种情况:

- 1) 沉船深度不足,通航船舶驶入碰撞航路,并且没有注意到沉船,直接撞上沉船。
- 2) 沉船深度不足,通航船舶驶入碰撞航路,注意到沉船,但采取避让措施失败,碰撞沉船。

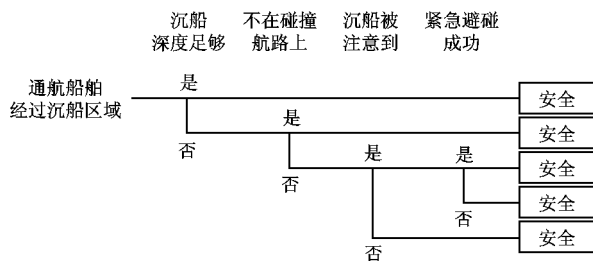


图2 通航船舶碰撞沉船的事件树分析

Fig. 2 ETA for navigable vessels collision with shipwreck

1.2 安全通航水深

通航船舶的安全通航水深按式(1)计算:

$$D = T + \Delta Z \quad (1)$$

式(1)中: D 为安全通航水深/m; T 为通航船舶满载吃水/m; ΔZ 为船舶安全航行所需要的富裕水深/m。

依据文献[4]提供的设计船型尺度及典型船型尺度拟合得出通航船舶满载吃水与吨位间的对应关系见图3。根据文献[5],取 $\Delta Z=20\%$ 。

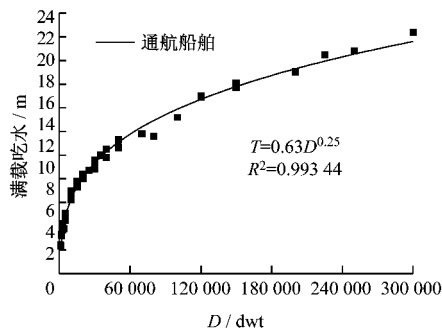


图3 通航船舶满载吃水与吨级间的对应关系

Fig. 3 Loaded draft for navigable vessels

沉船深度对通航安全的影响(见图4)。若通航船舶所需要的安全通航水深小于沉船深度,则该类船舶可安全通航;若通航船舶所需要的安全通航水深大于沉船深度,则按后续方法进行概率风险评估。

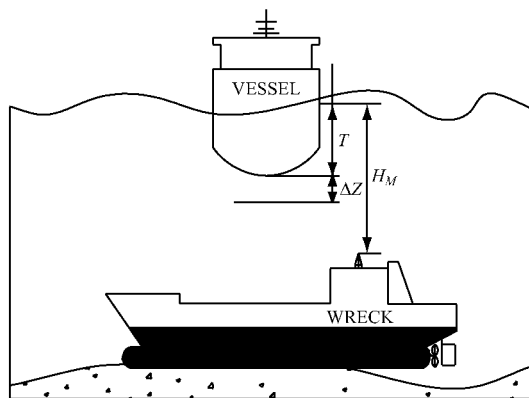


图4 沉船富裕水深对通航安全的影响

Fig. 4 The influence of marginal depth to navigation safety

2 沉船碍航概率风险评估模型

2.1 基本模型

基于上述事件树分析,通航船舶碰撞沉船的期望可以用式(2)表示:

$$E_{(T)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l N_{ijk} \cdot P_{G,ijk} \cdot P_{A,ijk} \quad (2)$$

式(2)中: $E_{(T)}$ 为 T 年内撞击到沉船的船只数量; T 为年限,通常取为1a; N_{ijk} 为 T 年内第 k 条航路上通

过沉船区域第 i 类、第 j 吨级船只的数量(艘); $P_{G,ijk}$ 为几何概率,描述通航船舶航行在能撞击到沉船的碰撞航路上的概率; $P_{A,ijk}$ 为偏航概率,由于瞭望失误、操作步骤出错、机械故障、恶劣气象海况条件等原因使通航船舶避碰失败的统计概率。

2.2 几何概率的确定

几何概率与沉船大小、沉船位置、航路宽度、通航船舶大小以及航迹线的分布等因素有关。几何概率一般通过船舶航迹线的几何分布模型来确定。对于开敞水域,航路中没有特殊的障碍物,航迹线在航路上的横向分布服从正态分布^[6-8]。

几何概率可表达为:

$$P_{G,k} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (3)$$

海上沉船区域某航路的几何概率模型见图 5。设航路宽度 BP , 沉船宽度 BW , 沉船长度 LW , 沉船艏艉方向与航路方向的夹角 θ (设沉船艏向 φ , 航路方向 Φ , $\theta = \Phi - \varphi$), 沉船占宽 $L = LW \cdot |\sin \theta| + BW \cdot |\cos \theta|$ (对于某些特殊种类的船舶, 还要考虑到货物散落的影响, 如集装箱、大型构件等), 通航船宽 BV , 通航船长 LV 。

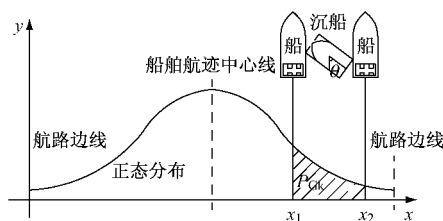


图 5 几何概率模型

Fig. 5 Geometric probability model

通航船舶经过沉船区域时, 要考虑到风、流所致的横向漂移, 船舶的安全通航宽度应以航迹带宽度为计算基准。根据文献[4], 取海上航路的通航船舶航迹带宽为:

$$B = 1.45 \times (LV \cdot \sin 14^\circ + BV) \quad (4)$$

纵坐标轴取在左侧航路边线, 沉船至纵坐标轴的距离为 d , $x_1 = d - (B + L)/2$, $x_2 = d + (B + L)/2$ 。正态分布的中心位置 μ 假定是航路中心线, $\mu = BP/2$, 取标准差 $\sigma = BP/6$ 。通航船舶碰撞沉船的几何概率等于碰撞区宽度 $(B + L)$ (B 为通航船舶航迹带宽, L 为沉船宽) 所对应的阴影部分的面积。对于推荐航路和非习惯航路基本参数的确定可根据航海出版物或 AIS (Automatic Identification System) 监控设备获取。

2.3 偏航概率的确定

偏航概率的影响因素比较多, 当为某一特定水

域进行偏航概率评估或对不同水域的偏航概率进行比较时, 应当考虑到一些重要的影响因素, 包括风、流、能见度、船型、船舶尺寸、船速、船舶设备和性能、船舶装载情况、引航员、交通密度、航道弯曲度、航路宽度、碰撞目标的可检测性、助航标志、光线和照明、VTS (Vessel Traffic Services) 系统等^[9]。

按式(5)计算偏航概率:

$$P_{A,k} = BR \times R_B \times R_C \times R_{XC} \times R_D \times R_E \times R_F \times R_H \quad (5)$$

式(5)中: BR 为基准偏航概率; R_B 为沉船所在航路修正系数; R_C 为平行水流修正系数; R_{XC} 为横向水流修正系数; R_D 为船舶交通密度修正系数; R_E 为能见度修正系数; R_F 为风速修正系数; R_H 为助航条件修正系数。

具体沉船处的偏航概率可以通过对该区域内通航船舶碰撞沉船事故资料的分析确定。但由于通航船舶碰撞沉船的事故率较低, 一般情况下缺乏足够的资料, 因此常用沉船区域船舶碰撞和搁浅的资料数据来确定偏航概率。根据国内外一些水道的历史事故资料确定基准偏航概率^[6,9], 按船舶大小和船型分别取值在 $0.5 \times 10^{-4} \sim 6.3 \times 10^{-4}$, 这里取 $BR = 2 \times 10^{-6} LV - 4 \times 10^{-5}$ 。

沉船所在航路的修正系数根据航路的弯曲度 δ ($0 \leq \delta \leq 90^\circ$) 估算:

$$R_B = 1 + \delta/90^\circ \quad (6)$$

航路内平行作用的水流修正系数:

$$R_C = 1 + v_c/10 \quad (7)$$

式(7)中: v_c 为平行于航路方向的水流速度分量, m/s, 取常年主流向 ω 和主流速 v_s , 水流方向与航路方向的夹角 $\rho = \Phi - \omega$, 平行流速 $v_c = v_s \cdot |\cos \rho|$ 。

垂直于航路方向的横向水流的修正系数:

$$R_{XC} = 1 + 0.5 v_{xc} \quad (8)$$

式(8)中: v_{xc} 为垂直于航线方向的水速分量, m/s, 横向流速 $v_{xc} = v_s \cdot |\sin \rho|$ 。

船舶交通密度修正系数可由在水道中的沉船区域的交通密度水平来确定。低交通密度, $R_D = 1.0$, 船只在附近区域很少会遇、通过或超越; 中等交通密度, $R_D = 1.3$; 高交通密度, $R_D = 1.6$, 船只在附近区域经常会遇、通过或超越。

能见度修正系数:

$$R_E = 1 + 1/r \quad (9)$$

式(9)中: r 为能见距离, km, 取常年平均值。

风速修正系数建议由式(10)确定:

$$R_F = 1 + v_f/10 \quad (10)$$

式(10)中: v_f 为风速, 蒲氏风级, 取常年平均值。

助航条件修正系数 R_H 为 $0.7 \sim 1$ 。无助航条件 $R_H = 1$; 良好的助航条件可取较低的 R_H 值。

2.4 通航船舶船型参数的确定

不同类型的船舶其尺寸、船速不同,甚至同一类型的船舶,由于制造厂家、设计图纸不同,其船型参数也有差别,因此它们在航行过程中碰到沉船的概率也有差异^[9-10]。

为简化计算不考虑船舶类型,仅依据文献[4]按指数关系对船型参数与吨位进行拟合,结果见图6、图7。因此,模型中仅有一个变量,即 dwt。

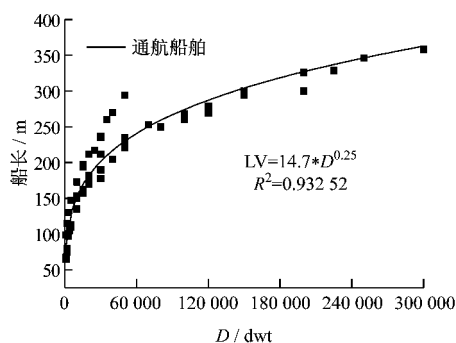


图6 船长与吨级间的对应关系

Fig. 6 Relationships between length and dwt

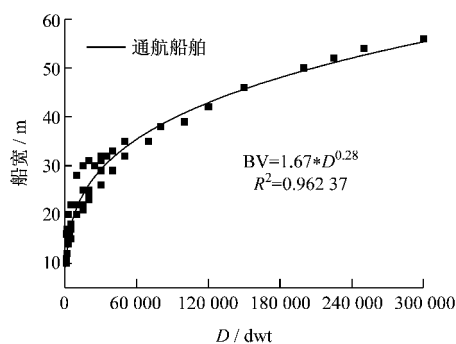


图7 船宽与吨级间的对应关系

Fig. 7 Relationships between breadth and dwt

3 评估方法的应用

2010-05-02 载运 17 万 t 矿砂的香港籍货轮“世纪之光”轮与利比亚籍货轮“海盛”轮在山东威海成山角以东约 25 n mile 海域雾航中碰撞沉没^[11], 沉船位置 $37^{\circ}38'N / 123^{\circ}08'E$ 。该轮船长 289 m, 船宽 47 m, 型深 24 m。沉船艏向 137° , 长约 65 m 的沉船艏部断裂后与原来约呈 90° 倒竖, 艏封板距水面约 7 m, 断裂位置以前的主船体距水面约 43~51 m。沉船海域流速约 2~3 kn, 常年主要流向约为 230° , 常年风速 5~7 级。另外, 成山角附近夏季多

雾给航行带来困难。

沉船艏部主船体距水面 43 m 以上, 根据式(1) 400 000 dwt 以上的船舶均可安全通过, 因此碍航风险主要在于倒竖的艏部船体。根据现场测量并简化计算, 取沉船在各个方向占宽 L 均为 50 m。图 8 中取 135° 、 150° 、 180° 三个主要的航迹线方向进行碍航概率风险评估。所需要的基本模型参数输入所编制的计算程序中, 该计算程序显示的人机界面亲和性好。



图8 海上沉船碍航概率风险评估示例

Fig. 8 Illustration of the application of risk assessment model

ALARP(As Low As Reasonably Practicable, 合理可行的低风险)原则是风险管理的一个基本原则^[9], 它将风险划分为三个等级: 可接受风险区、ALARP 区和不可容忍风险区。风险等级的划分首先要确定可接受风险, 不同时期、不同条件下的可接受风险是不同的, 必须综合考虑安全性、经济性及当时的技术水平等因素。沉船所在的成山角外水域为大型油轮和散货船所经常通过的区域, 通过应用建立的评估模型可知, 沿“成山角↔老铁山”方向经过该沉船区域的 10 万 t 以上船舶以及沿“成山角↔南行”方向经过该沉船区域的 15 万 t 以上船舶碰撞沉船的风险均为不可接受。因此, 必须对该沉船区域采取风险控制措施确保大型船舶的航行安全。

4 结 语

通过对通航船舶碰撞海上沉船的事故分析, 考虑沉船深度的影响, 建立了海上沉船碍航概率风险评估模型。通航船舶驶入碰撞航路的几何概率按照正态分布的交通模式处理。基准偏航概率用沉船区域船舶碰撞和搁浅的资料数据来确定, 并考虑风、流、能见度和交通密度等因素进行修正。通过对实际验证, 该模型具实用性和可操作性。

参 考 文 献

- [1] Y. Fujii. Some Factors Affecting the Frequency of Accidents in Marine Traffic[J]. Journal of Navigation, 1974(27): 235-252.
- [2] T. Macduff. The Probability of Vessel Collisions[J]. Ocean Industry, 1974(9):144-148.
- [3] O. D. Larsen. Ship Collision with Bridges [Z]. IAB-SE Structural Engineering Documents, 1993.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 海港总平面设计规范 (JTJ 211-99)[S]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [5] 曲径, 韩晓宝, 陈伟. 渤海超大型油轮安全保障研究[J]. 中国航海, 2010, 33(2): 51-55.
Qu Jing, Han Xiaobao, Chen Wei. Research on Safe-guard of VLCC in Bohai Sea[J]. Navigation of China, 2010, 33(2): 51-55.
- [6] AASHTO. Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges[S]. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D. C., 1994.
- [7] 林铁良, 王君杰, 陈艾荣. 基于事故记录的船撞桥墩概率模型建立[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007, 35(2): 181-186.
Lin Tieliang, Wang Junjie, Chen Airong. Construction of Probability Models about Ship Collision with Bridge Piers Based on Accident Records[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2007, 35(2): 181-186.
- [8] 戴彤宇. 船撞桥及其风险分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2002.
- [9] 王君杰, 耿波. 桥梁船撞概率风险评估与措施[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [10] 耿波. 桥梁船撞安全评估[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [11] 邓卫华, 张旭东. 山东威海海域两船相撞 46 名中印船员全部获救[EB/OL]. [2010-05-02].
http://news.xinhuanet.com/2010-05/02/c_1269821.htm.

(上接第 34 页)

4.2 系统稳定性分析

仿真结果说明, 测试环境下航向数字显示、仪表显示, 能满足商船高动态旋回 $ROT < 7^\circ/s$ 条件下的航向显示与方位测量需要; 舰船的最高旋回动态 $ROT < 30^\circ/s$, 特别是加速旋回、骤停、反向旋回的条件下, 系统仍能满足航向显示与方位测量的基本要求。

5 结 语

系统运用先进的角度数字测量及有线、无线混合组网式的传感器网络技术, 实现了分罗经数字化显示及目标方位的数字化测量, 克服了传统分罗经的缺点, 提高了数据测量的可共享性及终端的便携性、可移动性, 可在船舶驾驶台仪器仪表系统中得到广泛应用。

参 考 文 献

- [1] 张少军. 无线传感器网络技术及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 潘明阳, 胡景峰, 张斌. 内河船舶导航监控一体化应用[J]. 大连海事大学学报, 2011, 55(1): 39-43.
Pan Mingyang, Hu Jingfeng, Zhang Bin. Integrated Application of Inland Ship Navigation and Dynamic Monitoring[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2011, 55(1): 39-43.
- [3] 徐志京, 许开宇, 王世远. AIS 与 ECDIS 组合使用的探讨[J]. 航海技术, 2002(4): 18-21.
Xu Zhijing, Xu Kaiyu, Wang Shiyuan. Discussion on the Composite System of AIS and ECDIS[J]. Marine Technology, 2002(4): 18-21.
- [4] 初秀民, 徐海潮, 万剑, 等. 基于多线程的船载自动识别系统报文解析[J]. 中国航海, 2011, 34(2): 19-23.
Chu Xiumin, Xu Haichao, Wan Jian, et al. Parsing Shipborne AIS Messages Based on Multithreading[J]. Navigation of China, 2011, 34(2): 19-23.
- [5] 季本山, 顾益民, 李章德. 基于绝对旋转编码器的舵角反馈系统设计[J]. 船舶工程, 2010(1): 45-47.
Ji Bensan, Gu Yimin, Li Zhangde. Rudder Angle Feedback System Design Based on An Absolute Rotary Encoder[J]. Ship Engineering, 2010(1): 45-47.
- [6] Kahn J, Katz R, Pister K Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust[C]. Proceedings of the ACM MobiCom 99. New York: ACM Press, 1999. 271-278.
- [7] 冯爱国, 徐晓苏. GPS 辅助姿态计算的捷联陀螺罗经实现[J]. 上海海事大学学报, 2010, 32(4): 17-22.
Feng Aiguo, Xu Xiaosu. Strapdown Gyrocompass Design Based on GPS-assisted Attitude Calculation[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2010, 32(4): 17-22.